

(19) 日本国特許庁 (JP)

# (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 8 4 4 4 0

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 3 月 26 日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35

5 0 1

G 0 2 F 1/35 5 0 1

H 0 1 S 3/07

H 0 1 S 3/07

3/30

3/30

Z

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

14/02

J

審査請求 未請求 請求項の数 2 6

O L

(全 1 5 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平 9 - 238672

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目 19 番 2 号

(22) 出願日

平成 9 年 (1997) 9 月 3 日

(72) 発明者 河合 伸悟

東京都新宿区西新宿三丁目 19 番 2 号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 増田 浩次

東京都新宿区西新宿三丁目 19 番 2 号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 鈴木 謙一

東京都新宿区西新宿三丁目 19 番 2 号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

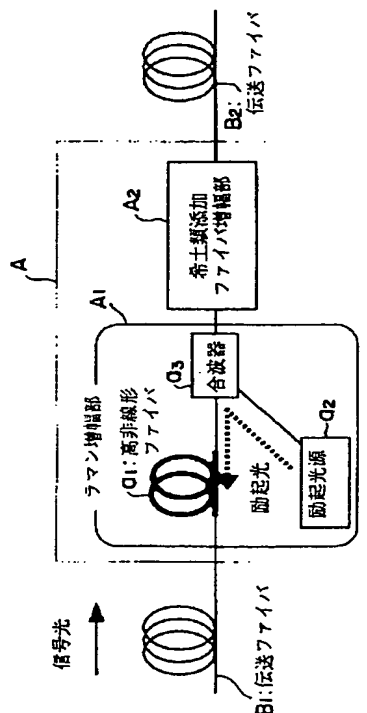
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器及びこれを用いた光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 利得帯域が平坦でかつ広帯域で、また伝送路の分散を補償して大容量の波長分割多重光伝送を実現する。

【解決手段】 ラマン増幅媒質を用いたラマン増幅部と希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを組み合わせることにより広帯域の光増幅を行う光増幅器において、ラマン増幅媒質として高非線形ファイバあるいは分散補償ファイバを適用する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマン増幅媒質を用いたラマン増幅部と希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを組み合わせることにより広帯域の光増幅を行う光増幅器において、ラマン増幅媒質として高非線形ファイバを適用することを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 ラマン増幅媒質を用いたラマン増幅部と希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを組み合わせることにより広帯域の光増幅を行う光増幅器において、ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを適用することを特徴とする光増幅器。

【請求項 3】 請求項 1 記載の光増幅器において、前記ラマン増幅部は、一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される高非線形ファイバと、励起光を発生する励起光源と、前記高非線形ファイバの他端に接続され、励起光を高非線形ファイバに入射させると共に該高非線形ファイバから入射された光信号を希土類添加ファイバ増幅部に出力する合波器とから構成されることを特徴とする光増幅器。

【請求項 4】 請求項 2 記載の光増幅器において、前記ラマン増幅部は、一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される分散補償ファイバと、励起光を発生する励起光源と、前記分散補償ファイバの他端に接続され、励起光を分散補償ファイバに入射させると共に該分散補償ファイバから入射された光信号を希土類添加ファイバ増幅部に出力する合波器とから構成されることを特徴とする光増幅器。

【請求項 5】 請求項 3 または 4 記載の光増幅器において、励起光を発生する第 2 の励起光源と、この励起光を前記一端からラマン増幅媒質に入射させる第 2 の合波器とを備えることを特徴とする光増幅器。

【請求項 6】 請求項 5 記載の光増幅器において、第 2 の合波器とラマン増幅媒質との間には、希土類添加ファイバが介挿されることを特徴とする光増幅器。

【請求項 7】 請求項 3 ないし 6 いずれかに記載の光増幅器において、前記ラマン増幅媒質の一端に励起光の伝送ファイバへの漏れを防止するアイソレータを備えることを特徴とする光増幅器。

【請求項 8】 請求項 1 ないし 7 いずれかに記載の光増幅器において、前記希土類添加ファイバ増幅部は、希土類添加ファイバを増幅媒質とする前段増幅部と、同じく該希土類添加ファイバを増幅媒質とする後段増幅部と、これら後段増幅部と前段増幅部との間に介挿される利得等化手段とから構成されることを特徴とする光増幅器。

【請求項 9】 請求項 2、4 ないし 8 いずれかに記載の光増幅器において、分散補償ファイバの分散スロープが伝送ファイバの分散スロープとは逆符号であることを特徴とする光増幅器。

【請求項 10】 請求項 3 ないし 9 記載の光増幅器において、前記合波器または第 2 の合波器に代えて方向性結

合器を用いることを特徴とする光増幅器。

【請求項 11】 請求項 2 記載の光増幅器と、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、請求項 2 記載の光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 12】 請求項 4 記載の光増幅器と、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、請求項 4 記載の光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 13】 請求項 5 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 14】 請求項 6 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 15】 請求項 7 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 16】 請求項 8 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 17】 請求項 2 記載の光増幅器と、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、請求項 2 記載の光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 18】 請求項 4 記載の光増幅器と、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、請求項 4 記載の光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 19】 請求項 5 記載の光増幅器のうち分散補

償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2 0】 請求項 6 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータ

【請求項 2 1】 請求項 7 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2 2】 請求項 8 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2 3】 請求項 9 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2 4】 請求項 1 0 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2 5】 請求項 9 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータ

【請求項 2 6】 請求項 1 0 記載の光増幅器のうち分散補償ファイバを用いるものと、光信号を送信する送信器と、シングルモードファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、前記光増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されることを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバ伝送系

や光信号処理系において必要とされる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムに関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】 波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 光伝送システムにおいて、その伝送容量を増大させるための重要課題の一つは、光増幅器の帯域拡大である。光ファイバ伝送に適した  $1.5 \mu\text{m}$  帯において優れた特性を示す光増幅器としては、図 1 に示すように EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) を代表とする希土類添加ファイバ増幅器があげられるが、その増幅帯域は通常数十 nm であり、光ファイバの低損失波長域が数百 nm に及ぶことを考慮すると、この値は十分なものとは言い難い。

【0 0 0 3】 これまで、利得等化器 (参照文献: M. Tachibana, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., 3, pp. 118-120 (1991))、励起波長制御 (参照文献: J. F. Massicot, et al., Electron. Lett., 26, pp. 1645-1646 (1990))、利得媒質である希土類添加ファイバ組成の改良 (参照文献: B. Clesca, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., 6, pp. 509-512 (1994))、等の方法を用いて EDFA 利得の平坦化及び広帯域化が検討されている。これらの検討に基づいて利得の平坦化を行う場合、利得が平坦な帯域のみならず、光増幅器の飽和出力と低雑音特性とを損なわないように留意する必要がある。

【0 0 0 4】 一方、通常のシリカファイバ中のラマン散乱によっても広い波長範囲に亘って光増幅が可能であることが知られており、図 2 に示すような前置増幅器構成のシステム実験により、その有効性が確認されている (参照文献: P. B. Hansen, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., 9, pp. 262-264 (1997))。この方法では、通常数十～百 km 程度の伝送ファイバをそのまま増幅媒体として用いるために、受信端に励起光源を配置することにより、容易にシステムのアップグレードが可能となる利点をもつ。また、この方法では励起波長を適当に選ぶことにより任意の波長での光増幅が可能である。

【0 0 0 5】 さらに、上述した 2 種類の光増幅手段を併用することにより、利得が平坦な帯域の更なる増大が可能となる。本発明者等は、ラマン利得が励起波長からその利得ピークまでの波長域 (シリカファイバでは約  $110 \text{ nm}$ ) において単調増加することに着目し、EDFA 利得のスペクトルの長波長領域における減少を相殺するようにラマン増幅の励起波長とピーク利得を調節することにより、利得が平坦な帯域の大幅な増大が得られることを確認した。この点については、参照文献 (H. Masuda, et al., Electron. Lett., 33, pp. 753-754 (1997)) に詳しく記載されている。

【0 0 0 6】 このような従来の光増幅器の構成を図 3 に、また図 4 にその利得スペクトルを示す。EDFA は、増幅部が前段と後段の 2 つに分かれ、また、前段と後段との間に利得等化器が挿入されて利得平坦化が行わ

れているのが特徴である。この構成では、利得等化器の後段に利得媒質を配置するため、利得等化器の損失を大きくとっても光増幅器の飽和出力を大きく保つことができると共に、低雑音特性を確保できる。この場合、ラマン増幅用ファイバとしては、やはり長尺の伝送用ファイバを用いている。実験で用いた伝送用分散シフトファイバのモード径及びファイバ長は、各々に  $8\ \mu\text{m}$ 、 $65\ \text{km}$  であり、1.53  $\mu\text{m}$  励起の半導体レーザ 2 台を励起光源として  $500\ \text{mW}$  の光パワーの励起光を入射している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述したようにラマン増幅媒質として伝送ファイバを用いる構成では、前段に伝送ファイバの無い後置増幅器構成が取れないだけでなく、高利得を得るために非常に大きなパワーの励起光が必要である。このことは、光増幅器の入力端から伝送用ファイバへは常に高強度光が入射されること等からシステム設計上得策ではない。また、ラマン利得は、励起光のパワーのみならず、ラマン増幅用ファイバのファイバ長、コア径及び添加物質の濃度等、複数のパラメータに依存するため、上述した従来の構成では伝送ファイバに新たな設計条件が付加されることになる。

【0008】特に、既設の光伝送路では、これらパラメータの値は敷設された個々の光ファイバによりまちまちであり、したがって光伝送システムをアップグレードする場合にラマン増幅部の設計が非常に困難となる。このような技術課題を克服するためには、一案として伝送ファイバとラマン増幅部とを分離し、低い励起光パワーで効率的かつ集中定数的な光増幅を行う必要があるが、そのような光増幅器はこれまで提案されていなかった。

【0009】本発明は、上述する問題点に鑑みてなされたものであり、以下の点を目的とするものである。

(1) 利得帯域が平坦でかつ広帯域な光増幅器及びこれを用いた光伝送システムを提供する。

(2) 伝送路の分散を補償することが可能な光増幅器及びこれを用いた光伝送システムを提供する。

(3) 大容量の波長分割多重光伝送を可能とする光増幅器及びこれを用いた光伝送システムを提供する。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、光増幅器に係わる第 1 の手段として、ラマン増幅媒質を用いたラマン増幅部と希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを組み合わせることにより広帯域の光増幅を行う光増幅器において、ラマン増幅媒質として高非線形ファイバを適用するという手段を採用する。また、光増幅器に係わる第 2 の手段として、ラマン増幅媒質を用いたラマン増幅部と希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを組み合わせることにより広帯域の光増幅を行う光増幅器において、ラマン増幅媒質として分散補

償ファイバを適用するという手段を採用する。光増幅器に係わる第 3 の手段として、上記第 1 の手段において、一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される高非線形ファイバと、励起光を発生する励起光源と、前記高非線形ファイバの他端に接続され、励起光を高非線形ファイバに入射させると共に高非線形ファイバから入射された光信号を希土類添加ファイバ増幅部に出力する合波器とからラマン増幅部を構成するという手段を採用する。

光増幅器に係わる第 4 の手段として、上記第 2 の手段において、一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される分散補償ファイバと、励起光を発生する励起光源と、前記分散補償ファイバの他端に接続され、励起光を分散補償ファイバに入射させると共に高非線形ファイバから入射された光信号を希土類添加ファイバ増幅部に出力する合波器とからラマン増幅部を構成するという手段を採用する。光増幅器に係わる第 5 の手段として、上記第 3 または第 4 の手段において、励起光を発生する第 2 の励起光源と、この励起光を前記一端からラマン増幅媒質に入射させる第 2 の合波器とを備えるという手段を採用する。光増幅器に係わる第 6 の手段として、上記第 5 の手段において、第 2 の合波器とラマン増幅媒質との間に希土類添加ファイバを介挿するという手段を採用する。光増幅器に係わる第 7 の手段として、上記第 3 ないし第 6 いずれかの手段において、前記高非線形ファイバの一端に励起光の伝送ファイバへの漏れを防止するアイソレータを備えるという手段を採用する。光増幅器に係わる第 8 の手段として、上記第 1 ないし第 7 いずれかの手段において、希土類添加ファイバを増幅媒質とする前段増幅部と、同じく希土類添加ファイバを増幅媒質とする後段増幅部と、該後段増幅部と前段増幅部との間に介挿される利得等化手段とから希土類添加ファイバ増幅部を構成するという手段を採用する。光増幅器に係わる第 9 の手段として、上記第 2、第 4 ないし第 8 いずれかの手段において、分散補償ファイバの分散スロープが伝送ファイバの分散スロープとは逆符号であるという手段を採用する。光増幅器に係わる第 10 の手段として、上記第 3 ないし 9 いずれかの手段において、合波器または第 2 の合波器に代えて方向性結合器を用いるという手段を採用する。

【0011】一方、本発明では、光伝送システムに係わる第 1 の手段として、上記光増幅器に係わる第 2 の手段に記載の光増幅器と、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、第 2 の手段に記載の増幅器の分散補償ファイバは、伝送路の分散を補償するようにパラメータが設定されるという手段を採用する。また、光伝送システムに係わる第 2 の手段として、上記光増幅器に係わる第 4 の手段に記載の光増幅器と、光信号を送信する送信器と、分散シフトファイバを用いた伝送路と、光信号を受信する受信器とを具備し、上記光増幅器の分散補償フ

50

【0013】（光増幅器に係わる第1実施形態）まず始めに、図5を参照して、光増幅器に係わる第1実施形態について説明する。なお、この第1実施形態は、本発

明において最も基本的な構成に関するものである。この図に示すように、本実施形態の光増幅器Aは、ラマン増幅部A1と希土類添加ファイバ増幅部A2とから構成される。このように構成された光増幅器Aには、光信号を入力するための伝送ファイバB1（伝送路）と増幅された光信号を出力するための伝送ファイバB2（伝送路）とがそれぞれ接続される。

【0014】また、上記ラマン増幅部A1は、ラマン増幅媒質である高非線形ファイバa1と、高非線形ファイバa1を励起するための励起光を発生する励起光源a2、及び合波器a3とから構成される。高非線形ファイバa1の一端には上記伝送ファイバB1が接続されて光信号が入射され、その他端には合波器a3が接続されて励起光源a2から供給された励起光が入射されるようになって

いる。

【0015】すなわち、合波器a3は、励起光を光信号の入射方向に対して逆の方向から高非線形ファイバa1に入射させると共に、該高非線形ファイバa1によって増幅された光信号を希土類添加ファイバ増幅部A2に出力する。この希土類添加ファイバ増幅部A2は、上述したように希土類添加ファイバに励起光を照射することにより光増幅作用を持たせたものであり、利得等化器等の利得平坦化手段を備えるものであっても良い。

【0016】このように構成されたラマン増幅部A1と希土類添加ファイバ増幅部A2とから光増幅器Aを構成した場合、希土類添加ファイバ増幅部A2における長波長領域での利得スペクトルの減少を相殺するようにラマン増幅部A1のラマン利得を調節することにより、広帯域に亘って利得が平坦な波長領域を実現することができる。

【0017】このように本実施形態は、ラマン増幅媒質として高非線形ファイバa1を適用する点において、従来技術とは大きく異なる。一般に、高非線形ファイバは、通常に用いられている伝送ファイバに比べてコア径が小さく、また添加物質の濃度も大きいために光に対する非線形効果の効率がよく、よって比較的短尺なファイバ長と低いパワーの励起光においても効率良くラマン増幅を行うことができる。このような高非線形ファイバによれば、コア径の $\sim 2$ 乗及び添加物の濃度に比例したラマン増幅率が得られる。したがって、例えばファイバ長を数km程度にして光増幅器内に内蔵することができるので、集中定数的な光増幅器の構成が可能となると共に、効率的なラマン増幅が可能となる。

【0018】例えば、このような高非線形ファイバa1から構成されたラマン増幅部A1のパラメータの典型値としては、高非線形ファイバa1のモード径及びファイバ長が、各々 $4\mu\text{m}$ 、 $1\text{km}$ であり、 $1.51\mu\text{m}$ 励起の半導体レーザである励起光源a2からの励起光のパワーは $200\text{mW}$ である。

【0019】〔光増幅器に係わる第2実施形態〕 続い

て、図6を参照して、本発明の光増幅器に係わる第2実施形態について説明する。なお、この実施形態は、上記第1実施形態における希土類添加ファイバ増幅部A2の構成のバリエーションに関するものである。したがって、ラマン増幅部については上記ラマン増幅部A1と同様であり、よって同一符号を付してその説明を省略する。

【0020】この図に示すように、本実施形態における希土類添加ファイバ増幅部A3は、前段増幅部1と後段増幅部2及びこれらに介挿されるフーリエフィルタ（Split Beam Fourier Filter）3によって構成される。また、前段増幅部1は、アイソレータ1a、1bと合波器1cと希土類添加ファイバ1dと励起光源1e（半導体レーザ）とから構成され、後段増幅部2は、合波器2aと希土類添加ファイバ2bとアイソレータ2cと励起光源2d（半導体レーザ）とから構成される。

【0021】ラマン増幅部A1から出射された光信号は、アイソレータ1aに入射され、合波器1cさらに希土類添加ファイバ1cを経由してアイソレータ1dからフーリエフィルタ3に出射される。また、希土類添加ファイバ1cには、励起光源1eから出射された励起光が合波器1cを介して入射される。フーリエフィルタ3は、利得等化手段として作用するものであり、前段増幅部1から入射された光信号を利得等化して後段増幅部2に出射する。

【0022】そして、このようにフーリエフィルタ3から出射された光信号は、後段増幅部2の合波器2aに入射され、希土類添加ファイバ2bを経由してアイソレータ2cから出射される。また、希土類添加ファイバ2bには、励起光源2dにおいて発生された励起光が合波器2aを介して入射される。

【0023】上記希土類添加ファイバ増幅部A3によれば、ラマン増幅部A1の高非線形ファイバa1によってラマン増幅された光信号は、希土類添加ファイバ1cによって光増幅された後、フーリエフィルタ6によって利得等化され、さらに希土類添加ファイバ2bによって光増幅される。

【0024】本実施形態では、上述したように比較的短尺の高非線形ファイバa1と比較的低パワーの励起光で効率良くラマン増幅が行えて集中定数的な光増幅器の構成が可能となるため、従来では不可能であった後置増幅器としても上記構成の希土類添加ファイバ増幅部A3を用いることができる。

【0025】ここで、本実施形態ではラマン増幅用の励起光を合波器a3を用いて合波しているが、合波器a3に代えて光サーキュレータ等の方向性結合器を用いてもよい。この場合、前段増幅部1のアイソレータ1aが不要となり、該アイソレータ1aにおける光信号の損失を減少させることができる。なお、本実施形態を含めた利得平坦化希土類添加ファイバ増幅器の構成については、文

献 (H. Masuda, et al., Electron. Lett., Vol. 33, pp. 1070-1072 (1997)) に詳細な記述がある。

【0026】〔光増幅器に係わる第3実施形態〕次に、図7を参照して、本発明に係わる光増幅器の第3実施形態について説明する。この実施形態は、上記第2実施形態におけるラマン増幅部A1をラマン増幅部A4に変更したものであり、この他の構成については第2実施形態と同様である。すなわち、このラマン増幅部A4は、高非線形ファイバa1の前方（光信号の入射側）からも励起光を入射するために、光信号の入口端に合波器a4（第2の合波器）を設け、該合波器a4を介して励起光源a5（第2の励起光源）から出射された励起光を前方から高非線形ファイバa1に供給するものである。

【0027】このような構成を採用することにより、例えば励起光源a2のパワーを励起光源a5のパワーと同等とした場合に、上記実施形態2に対して2倍のパワーの励起光を高非線形ファイバa1に供給することができるので、各励起光源a2、a5のパワーを比較的抑えた状態で、光信号をさらに効率良くラマン増幅することができる。なお、励起光源a2のパワーと励起光源a5のパワーとが同一パワーである必要のないことは勿論である。

【0028】〔光増幅器に係わる第4実施形態〕図8は、本発明の光増幅器に係わる第4実施形態の構成を示す図である。本実施形態は、上述した各実施形態に対してラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部A5は、上記図5に示したラマン増幅部A1に対して、光信号の入力つまり高非線形ファイバa1の入力端にアイソレータa6を設けた点を特徴とする。このような構成を採用することにより、高非線形ファイバa1を通過した励起光が伝送ファイバへ漏れ込むことを防止することができる。

【0029】〔光増幅器に係わる第5実施形態〕図9は、本発明の光増幅器に係わる第5実施形態の構成を示す図である。本実施形態も、上記第4実施形態と同様にラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部A6は、上記図5に示したラマン増幅部A1の構成に対して、光信号の入力に合波器a7を設けると共に、該合波器a7と高非線形ファイバa1との間に希土類添加ファイバa8を新たに設け、さらに合波器a7を介して高非線形ファイバa1及び希土類添加ファイバa8に励起光を供給する励起光源a9を備える点を特徴とする。

【0030】図4に示したように、利得帯域の短波長領域では大きなラマン利得が得られないため、ラマン増幅部A1では雑音特性が劣化する可能性がある。本実施形態では、信号光を希土類添加ファイバa8で増幅した後、高非線形ファイバa1でラマン増幅するので、上記利得帯域の短波長領域における雑音特性の劣化を防止することができる。

【0031】〔光増幅器に係わる第6実施形態〕図10は、本発明の光増幅器に係わる第6実施形態の構成を示す図である。本実施形態も、上記第4、5実施形態と同様にラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部A7は、上記図5に示したラマン増幅部A1の構成に対して、高非線形ファイバa1に代えて分散補償ファイバa10を適用する点を特徴とするものである。

【0032】一般的に、分散補償ファイバは、高非線形ファイバ等と同様にコア径が小さくまた添加物質の濃度が高いという特徴を持つため、ラマン増幅媒質として用いることが可能である。このような分散補償ファイバを用いることにより、信号伝搬中に累積する伝送路分散を補償することができる。現状では分散補償ファイバによって $-200 \sim +200 \text{ ps/nm/dB}$ 程度の分散補償が可能であり、伝送路として分散シフトファイバを用いた伝送系は勿論、伝送路にシングルモードファイバを用いた伝送系における累積分散の補償も十分に可能である。

【0033】また、後置増幅器構成の場合には、光増幅器への入力光パワーが大きくなり、零分散波長近傍の多波長信号光は四光波混合等の非線形効果の影響により隣接チャネル間でクロストークを生じる可能性があるが、本実施形態のように高分散を有する分散補償ファイバa10を用いることにより、このようなクロストークを抑圧することが可能である。

【0034】〔光増幅器に係わる第7実施形態〕さらに、図11を参照して、本発明に係わる光増幅器の第7実施形態について説明する。本実施形態は、上記第6実施形態に対するラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部A8は、上記分散補償ファイバa10に代えて、分散スロープが伝送ファイバの分散スロープとは逆符号の関係となる分散補償ファイバa11を適用する点を特徴とする。

【0035】このように分散補償ファイバa11の分散スロープを伝送ファイバに対して逆符号の関係とすることによって、伝送路分散を補償することができるだけでなく、高次分散（分散の波長依存性、これにより波長の異なる信号チャネル間で累積分散値に差が生じる）の補償も可能となる。

【0036】次に、上記第6、7実施形態に示した光増幅器を用いた光伝送システムの実施形態について、図面を参照して説明する。すなわち、光伝送システムに係わる以下の実施形態は、分散補償ファイバを用いた光増幅器に関するものである。

【0037】〔光伝送システムに係わる第1実施形態〕まず、図12を参照して、光伝送システムの第1実施形態について説明する。図12(a)に示すように、本実施形態の光伝送システムは、送信器9と波長1.5  $\mu\text{m}$

帯に零分散波長を有する分散シフトファイバ10（伝送路）と光増幅器11と受信器12とから構成される。

【0038】光増幅器11は、ラマン増幅媒質として分散補償ファイバ（a10あるいはa11）を用いた上記第6、7実施形態の増幅器である。本光伝送システムは、送信機9と受信機12との間を分散シフトファイバ10によって接続し、かつ該分散シフトファイバ10の所定中継間隔毎に光増幅器11を介挿して構成される。ここで、分散補償ファイバ（a10あるいはa11）の各パラメータは、伝送路すなわち分散シフトファイバ10の分散を補償するように設定されている。

【0039】例えば、図12（b）に示すように、ある信号光波長における上記分散シフトファイバ10の分散値を  $2 \text{ ps/nm/km}$ 、また中継間隔を  $100 \text{ km}$  とした場合、光増幅器11内の分散補償ファイバ（a10あるいはa11）の分散値及びファイバ長を  $-100 \text{ ps/nm/km}$ 、 $2 \text{ km}$  に設定することにより分散補償をすることができる。すなわち、図示するように、分散シフトファイバ10による伝送に係わる面積と光増幅器11内の分散補償ファイバ（a10あるいはa11）の伝送に係わる面積とが等しくなるので、分散が補償される。

【0040】また、上述のように、分散シフトファイバ10の分散スロープを光増幅器11内の分散補償ファイバ（a10あるいはa11）に対して逆符号の関係とすることにより、高次分散の補償も可能である。

【0041】〔光伝送システムに係わる第2実施形態〕次に、図13を参照して、本発明の光伝送システムに係わる第2実施形態について説明する。この実施形態は、図13（a）に示すように、上記第1実施形態の分散シフトファイバ10に代えて、伝送路として波長  $1.3 \mu\text{m}$  帯に零分散波長を有するシングルモードファイバ13を用いた点の特徴とする。また、分散補償ファイバ（a10あるいはa11）の各パラメータは、伝送路すなわちシングルモードファイバ13の分散を補償するように設定される。

【0042】例えば、図13（b）に示すように、ある信号光波長におけるシングルモードファイバ13の分散値を  $15 \text{ ps/nm/km}$ 、また中継間隔を  $100 \text{ km}$  とした場合、光増幅器11内の分散補償ファイバ（a10あるいはa11）の分散値及びファイバ長を  $-150 \text{ ps/nm/km}$ 、 $10 \text{ km}$  とすることにより、図示するようにシングルモードファイバ13による伝送に係わる面積と光増幅器11内の分散補償ファイバ（a10あるいはa11）の伝送に係わる面積とが等しくなるので、分散が補償される。また、上述のように、シングルモードファイバ13の分散スロープと光増幅器11内の分散補償ファイバ（a10あるいはa11）の分散スロープとの関係を逆符号に設定することにより、高次分散の補償も可能である。

【0043】なお、本発明は上記各実施形態に限定され

るものではなく、以下のような変形が考えられる。

（1）各実施形態の合波器a3に代えて光サーキュレータ等の方向性結合器を用いる。この場合、後段に接続される希土類添加ファイバ増幅部の入力にアイソレータを挿入する必要がなくなるので、該アイソレータにおける光信号の損失を減少させることができる。

（2）ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合においても、上記光増幅器の第3実施形態と同様にして、ラマン増幅媒質の前後から励起光を入射させる。

（3）ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合においても、上記光増幅器の第4実施形態と同様にして、分散補償ファイバの光信号の入力端にアイソレータを設ける。

（4）ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合においても、上記光増幅器の第5実施形態と同様にして、分散補償ファイバと直列に希土類添加ファイバを設ける。

【0044】（5）上記の他、高非線形ファイバをラマン増幅媒質として用いた上記光増幅器に係わる各実施形態は、ラマン増幅媒質を分散補償ファイバとした場合にも適用することができると共に、分散補償ファイバを用いた光増幅器に係わる各実施形態に高非線形ファイバを用いた上記各実施形態の手段を組み合わせることも考えられる。また、光伝送システムを構成する光増幅器についても、分散補償ファイバを用いた上記各実施形態の光増幅器に高非線形ファイバを用いた上記各種実施形態の光増幅器の手段を組み合わせたものを用いることが考えられる。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムによれば、以下のような効果を奏する。

（1）ラマン増幅媒質を用いたラマン増幅部と希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを組み合わせることにより広帯域の光増幅を行う光増幅器において、ラマン増幅媒質として高非線形ファイバあるいは分散補償ファイバを適用するので、利得帯域が平坦でかつ広帯域な集中定数型光増幅器を構成することができる。

（2）また、ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合には、伝送路の分散を補償することができるので、大容量の波長分割多重光伝送を実現することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 従来の希土類添加ファイバ増幅器の基本構成を示す機能ブロック図である。

【図2】 従来の受信端におけるラマン増幅器の基本構成を示す機能ブロック図である。

【図3】 従来の光増幅器の構成例を示す機能ブロック図である。



【図 4】 ラマン増幅を用いた光増幅器の利得スペクトルの特性を示すグラフである。

【図 5】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 1 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 6】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 2 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 7】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 3 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 8】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 4 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 9】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 5 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 10】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 6 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 11】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 7 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 12】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた

光伝送システムにおいて、光伝送システムの第 1 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 13】 本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光伝送システムの第 2 実施形態の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

A, 10……光増幅器

A1, A4, A5, A6, A7, A8……ラマン増幅部

A2, A3……希土類添加ファイバ増幅部

a1……高非線形ファイバ

1e, 2d, a2, a5, a9……励起光源

1b, 2a, a3, a4, a7……合波器

a10, a11……分散補償ファイバ

B1, B2……伝送ファイバ (伝送路)

1……前段増幅部

1a, 1d, 2c, a6……アイソレータ

1c, 2b, a8……希土類添加ファイバ

2……後段増幅部

3……フーリエフィルタ (利得等化手段)

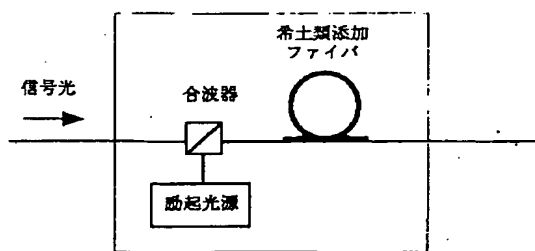
20 9……送信器

11……分散シフトファイバ

12……受信器

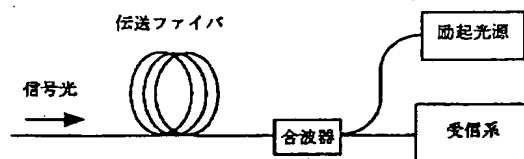
13……シングルモードファイバ

【図 1】



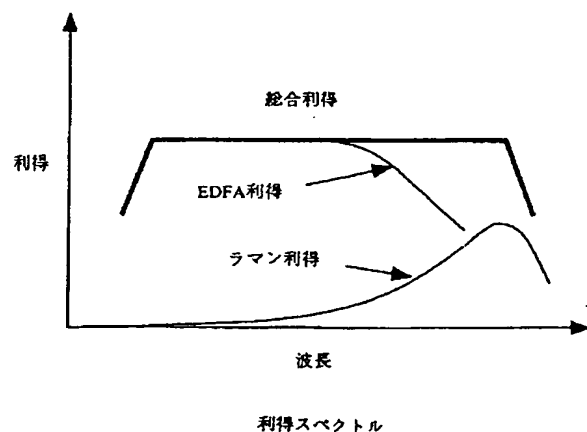
希土類添加ファイバ増幅器の基本構成図

【図 2】

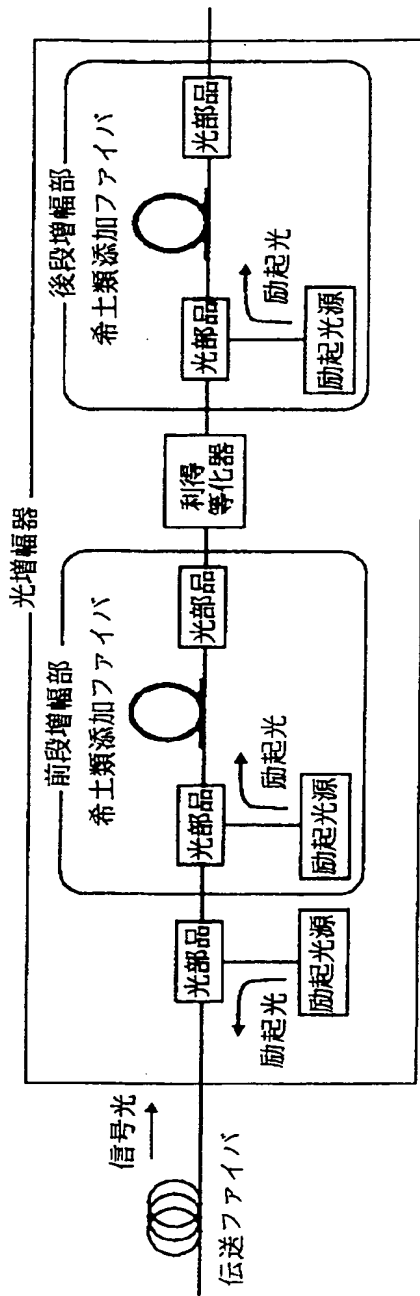


システム受信端におけるラマン増幅の基本構成図

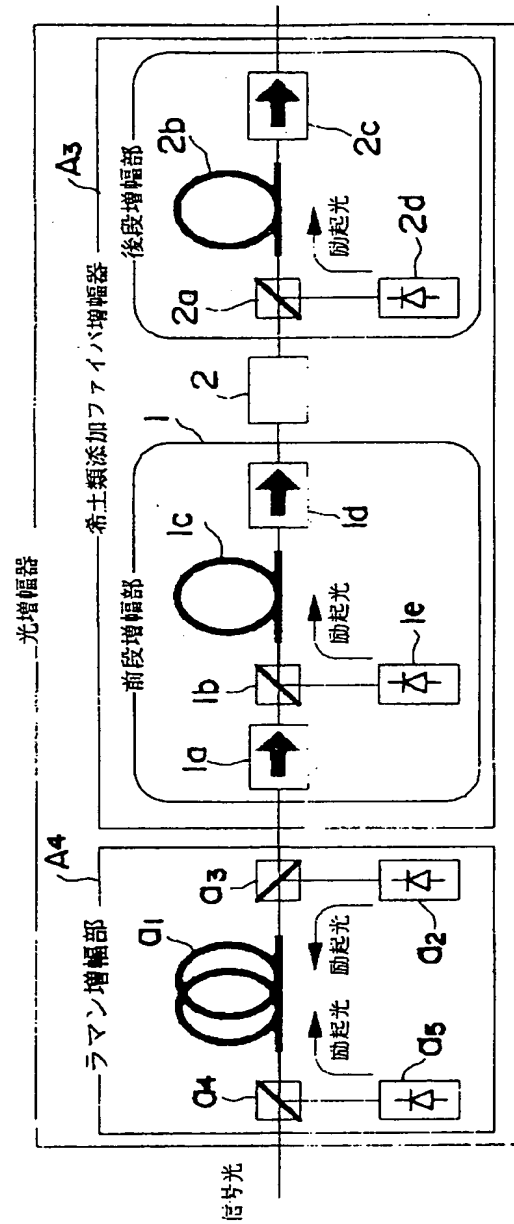
【図 4】



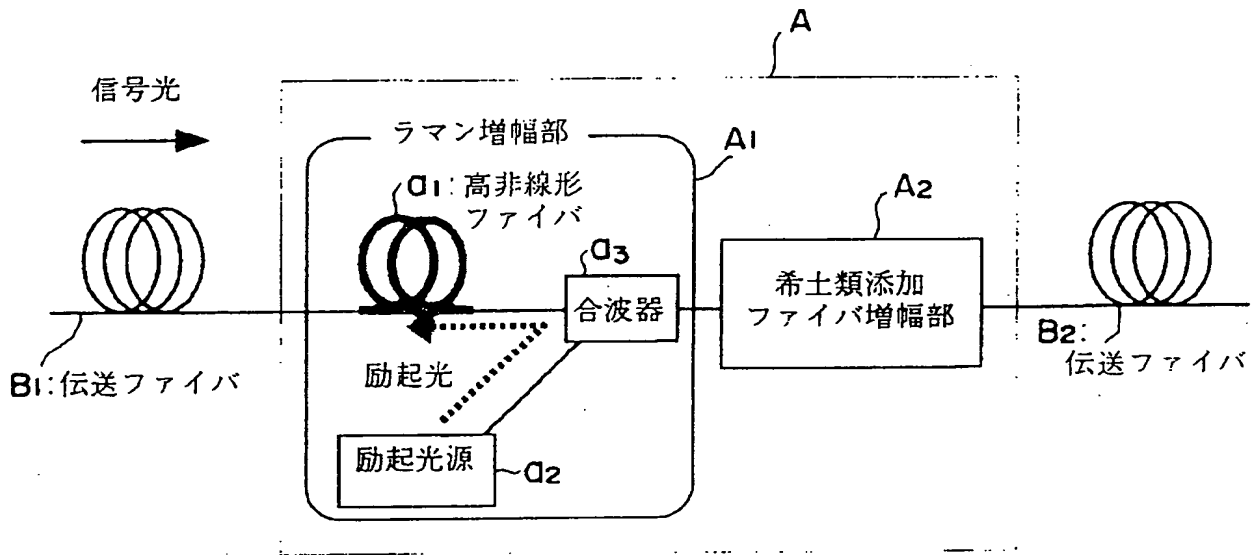
【図3】



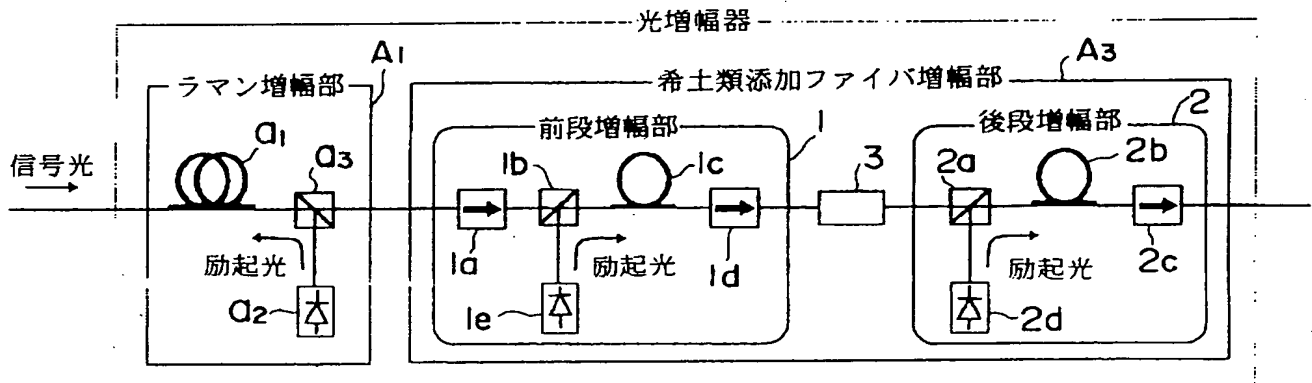
【図7】



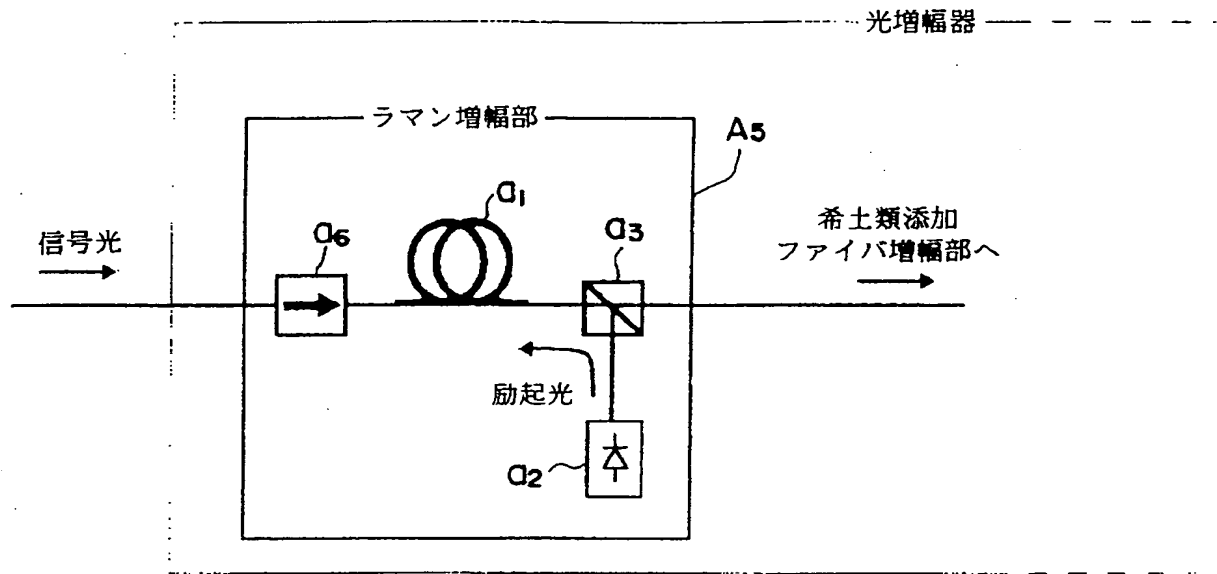
【図5】



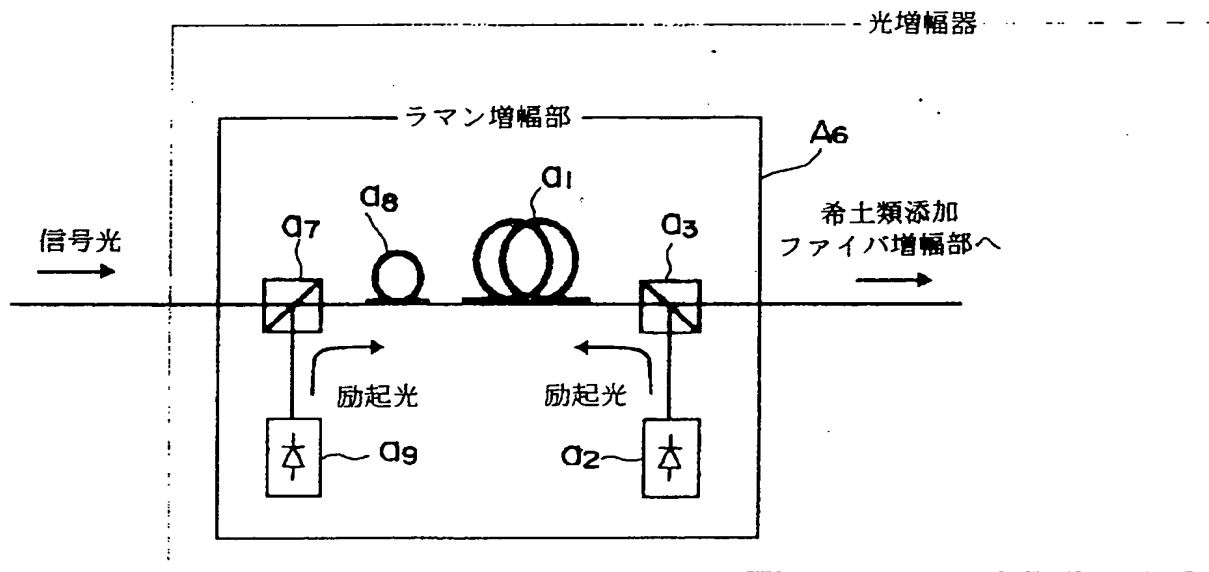
【図6】



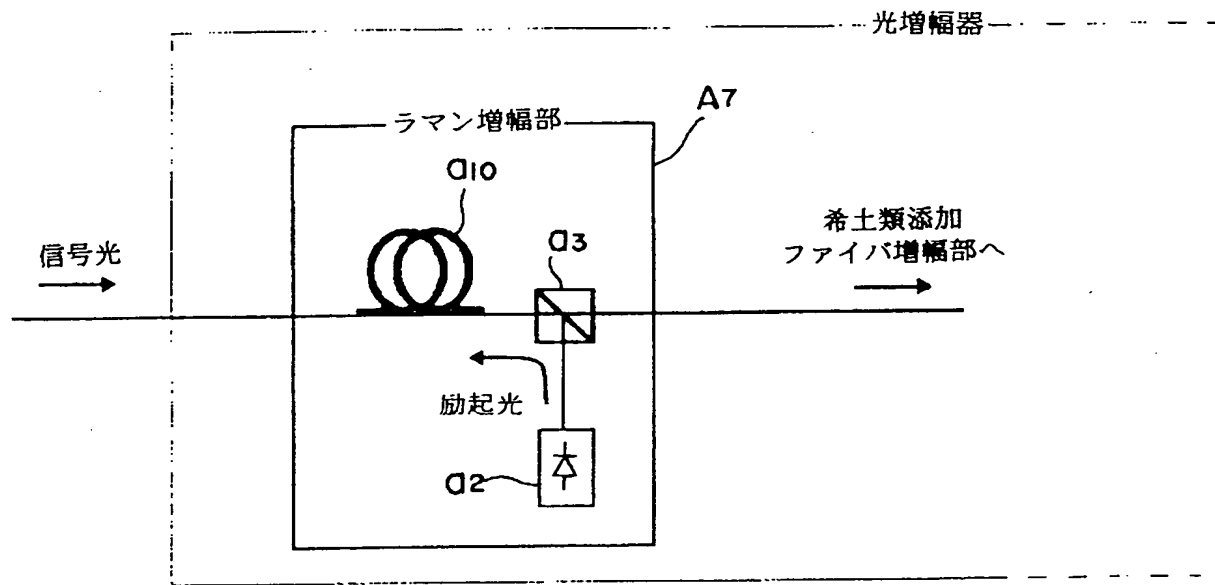
【図 8】



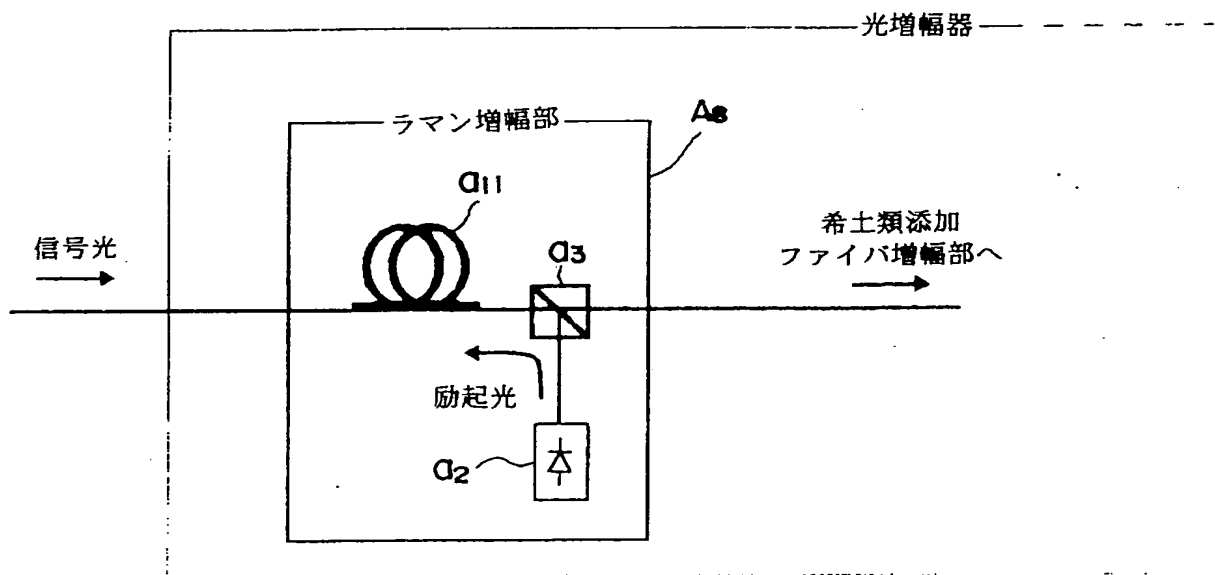
【図 9】



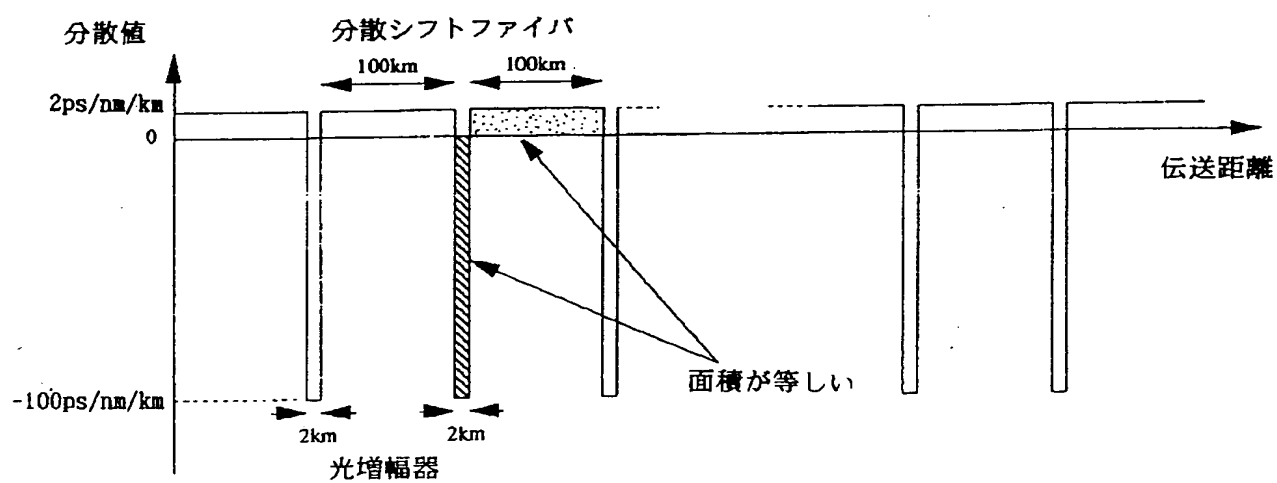
【図 10】



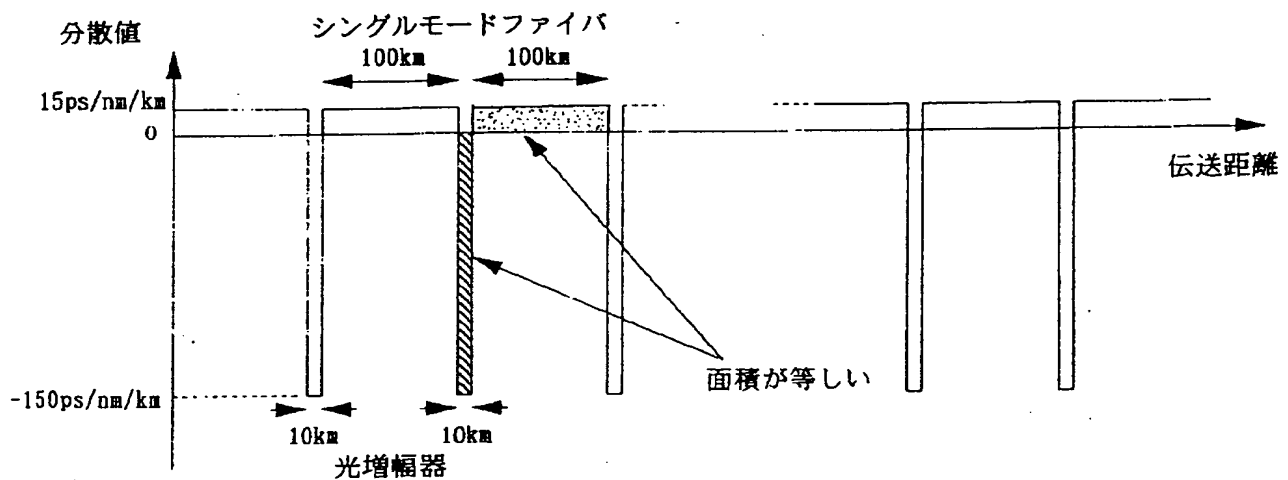
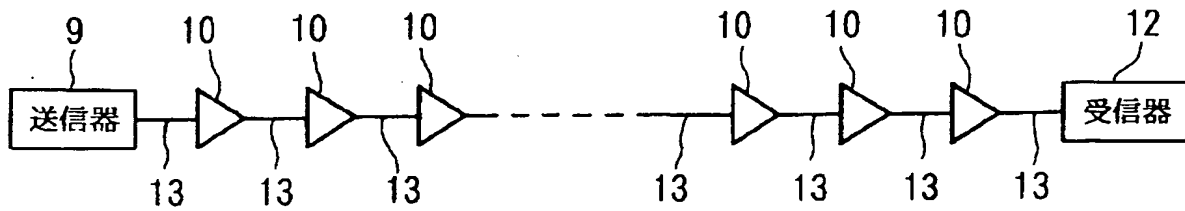
【図 11】



【図 1 2】



【図 13】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00

M

10/16

10/02

10/18

(72) 発明者 相田 一夫

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内